
DESCRIPCIÓN DE LOS CAMBIOS MACROSCÓPICOS DE DISCOS DE RESINA COMPUESTA SOMETIDOS A ALTAS TEMPERATURAS CON FINES FORENSES

DESCRIPTION OF MACROSCOPIC CHANGES IN COMPOSITE RESIN DISKS SUBJECTED TO HIGH TEMPERATURES FOR FORENSIC PURPOSES

CARLOS ARCOS¹, JUAN DAVID DÍAZ¹, KENNY CANENCIO¹, DIANA RODRÍGUEZ¹, CARLOS VIVEROS¹, JONATHAN VEGA¹,
WILMER SEPÚLVEDA², GUSTAVO SINISTERRA², FREDDY MORENO³

RESUMEN. Introducción: el objetivo del presente estudio fué estudiar el comportamiento de 375 discos elaborados en resina compuesta de cinco sistemas comerciales (Z100 3M-ESPE®, Z250 3M-ESPE®, Z350 3M-ESPE®, Brilliant NG Coltene-Whaledent® y TPH3 Dentsply®) y cinco colores (A1, A2, A3, A3.5 y B2) al ser sometidos a la acción de altas temperaturas (200, 400, 600, 800 y 1000 °C), con el propósito de establecer parámetros que se puedan aplicar a los métodos de identificación odontológica forense para el caso de cadáveres o restos humanos quemados, carbonizados o incinerados. **Métodos:** estudio descriptivo de naturaleza pseudoexperimental in vitro que describe los cambios físicos macroscópicos en la superficie de los discos de resina compuesta sometidos a altas temperaturas. **Resultados:** la resina compuesta presenta gran resistencia a las altas temperaturas, sin variar considerablemente su macroestructura. Dichos cambios físicos característicos y repetitivos, como estabilidad dimensional, textura, color, fisuras y grietas, fractura y estallido ocurren en rangos de temperatura específicos en los discos de cada marca comercial. **Conclusiones:** la descripción del comportamiento a la acción de las altas temperaturas de la resina compuesta puede guiar el proceso de identificación de un individuo cuyo cuerpo haya sido sometido a la acción del fuego durante el cotejo ante-postmortem. La información in vitro obtenida en este estudio demuestra que la descripción de las restauraciones realizadas en resina compuesta resulta de gran utilidad para documentar la necropsia médico-legal para el caso de cadáveres o restos humanos quemados, carbonizados e incinerados.

Palabras clave: ciencias forenses, odontología forense, resinas compuestas, temperatura alta.

Arcos C, Díaz JD, Canencio K, Rodríguez D, Viveros C, Vega J et al. Descripción de los cambios macroscópicos de discos de resina compuesta sometidos a altas temperaturas con fines forenses. Rev Fac Odontol Univ Antioq 2016; 27(2): 342-366. DOI: <http://dx.doi.org/10.17533/udea.rfo.v27n2a6>

ABSTRACT. Introduction: the objective of this study was to analyze the behavior of 375 composite resin disks of five commercial systems (Z100 3M-ESPE®, Z250 3M-ESPE®, Z350 3M-ESPE®, Brilliant NG Coltene-Whaledent® and TPH3 Dentsply®) and five colors (A1, A2, A3, A3.5 and B2) when subjected to the action of high temperatures (200, 400, 600, 800 and 1000° C), in order to establish parameters to be implemented in methods of forensic dental identification in the case of burned, charred, or incinerated corpses or human remains. **Methods:** a descriptive pseudo-experimental in vitro study describing the macroscopic physical changes on the surface of composite resin disks subjected to high temperatures. **Results:** composite resin is highly resistant to high temperatures with no significant changes in macrostructure. These characteristic repetitive physical changes, such as dimensional stability, texture, color, fissures and cracks, fracture and shattering occur in specific temperature ranges in disks of different manufacturers. **Conclusions:** describing the behavior of composite resin in the presence of high temperatures can help guide the process of identification of individuals whose bodies have been subjected to the action of fire during the ante-post mortem comparisons. The in vitro information obtained in this study shows that the description of composite resin restorations is useful in forensic autopsy in the case of burned, charred, or incinerated corpses or human remains.

Key words: forensic sciences, forensic dentistry, composite resins, high temperature.

Arcos C, Díaz JD, Canencio K, Rodríguez D, Viveros C, Vega J et al. Description of macroscopic changes in composite resin disks subjected to high temperatures for forensic purposes. Rev Fac Odontol Univ Antioq 2016; 27 (2): 342-366. DOI: <http://dx.doi.org/10.17533/udea.rfo.v27n2a6>

¹ Estudiantes de Odontología de la Universidad del Valle (Cali, Colombia).

² Profesor de la Escuela de Odontología de la Universidad del Valle (Cali, Colombia).

³ Profesor de la Facultad de Ciencias de la Salud de la Pontificia Universidad Javeriana (Cali, Colombia), Profesor de la Escuela de Odontología de la Universidad del Valle (Cali, Colombia).

¹ Dentistry students, Universidad del Valle (Cali, Colombia).

² Professor at Universidad del Valle. School of Dentistry (Cali, Colombia).

³ Professor at Pontificia Universidad Javeriana. School of Health Sciences (Cali, Colombia), Professor at Universidad del Valle School of Dentistry (Cali, Colombia).

INTRODUCCIÓN

La identificación de las personas fallecidas se constituye en un derecho fundamental de los seres humanos, debido a que todos los individuos tienen una identidad en vida que debe ser constatada fehacientemente al momento de la muerte, con fines sociales, culturales, religiosos, judiciales, legales y económicos. En las sociedades civilizadas, la vida jurídica se adquiere con el registro civil de nacimiento y el fin de la misma se hace constar con el certificado de defunción, razón por la cual es muy importante verificar la identidad de los cadáveres o restos humanos^{1,2}.

En la investigación científico-criminalística de la muerte, el trabajo durante la documentación de la necropsia médico-legal debe incluir la recolección, el análisis, la clasificación y la interpretación de información por parte de investigadores judiciales, fiscales y peritos forenses, dentro de los cuales se encuentra el odontólogo, ya que el examen minucioso de los tejidos blandos y mineralizados —incluidos los dientes— que conforman el sistema estomatognático brinda evidencia física que contribuye a establecer la identidad de una persona^{3,4}. Sin embargo, este proceso puede verse obstaculizado debido al estado de conservación de los restos humanos por los diferentes fenómenos cadavéricos o por los eventos ante, peri y postmortem asociados a la causa de muerte. Uno de estos eventos que desafía la pericia técnica, académica y científica de las ciencias forenses es el caso de los individuos quemados, carbonizados o incinerados, en quienes el reconocimiento visual se dificulta por las alteraciones faciales, porque las huellas digitales no se pueden recuperar debido al estado de los pulpejos de los dedos y porque la obtención de secuencias de extensión suficiente de ácido desoxirribonucleico (ADN) resulta poco probable^{5,6}.

Debido a que la identificación positiva de una persona requiere la coincidencia fehaciente de las características físicas postmortem con los registros de esas mismas características antemortem, los dientes y los materiales empleados en los tratamientos odontológicos se constituyen en una fuente fundamental para obtener información, debido a la propiedad de soportar altas temperaturas⁷⁻¹⁰,

INTRODUCTION

The identification of deceased persons is a fundamental human right since all individuals have an identity in life that must be clearly established at the time of death for social, cultural, religious, judicial, legal, and economic purposes. In civilized societies, legal life is acquired with civil registry and the end of it is indicated with a death certificate, and this why it is very important to verify the identity of corpses or human remains^{1,2}.

In the scientific-forensic investigations into death, the work during the necropsy medico-legal documentation should involve the collection, analysis, classification, and interpretation of data by forensic experts, prosecutors, and judicial investigators, which include dentists, since the careful examination of soft and mineralized tissues —including teeth— that make part of the stomatognathic system provides physical evidence that helps establishing the person's identity^{3,4}. However, this process may be blocked by the condition of the human remains due to different cadaveric phenomena or events pre-, peri and post-mortem associated with the cause of death. One of the challenges to the scientific, academic and technical forensic science experts is the case of individuals who have been burned, charred or incinerated, whose visual recognition is difficult because of facial alterations or bad conditions of finger pads, or because obtaining enough sequences of deoxyribonucleic acid (DNA) is unlikely^{5,6}.

Since a person's positive identification requires the irrefutable correlation of physical post-mortem features with records of those same characteristics ante-mortem, teeth and the materials used in dental treatments are a critical source of information, due to their property of resisting high temperatures⁷⁻¹⁰,

y a la protección relativa que le confieren los tejidos periorales, la musculatura facial, los huesos maxilares y la mandíbula, los tejidos periodontales y la lengua¹¹.

Es por ello, y al considerar la clasificación en categorías de las quemaduras corporales (1. Quemaduras superficiales, 2. Áreas de la epidermis destruidas, 3. Destrucción de la epidermis y dermis y de las áreas de necrosis en tejidos subyacentes, 4. Destrucción total de la piel y tejidos profundos y 5. Restos cremados)¹², que los odontólogos son llamados a asistir y guiar la identificación de individuos en las tres últimas categorías, mediante la comparación de los registros postmortem con la historia clínica odontológica antemortem. Por lo general, estas comparaciones o cotejos se realizan a partir de tratamientos odontológicos como restauraciones protésicas y obturaciones, dada la gran resistencia que tienen los tejidos dentales y los materiales de uso odontológico —incluidas las obturaciones realizadas con resinas compuestas—^{5,13-15}. En general, al ser sometidos a altas temperaturas, los materiales de uso odontológico (incluidas las resinas compuestas) pueden sufrir cambios en color, textura, fisuras y grietas, fracturas, estabilidad dimensional y estallido.

De esta forma, luego de realizar el registro odontológico postmortem de un cadáver o de restos humanos, y al contar con pruebas indiciarias que sugieran la posible identidad de los mismos, se procede a obtener las historias clínicas odontológicas que se consideren para realizar el cotejo dental ante-postmortem, lo cual, de acuerdo con la American Board of Forensic Odontology¹⁶, y sustentado por leyes nacionales e internacionales, permite establecer la identidad positiva (coincidencia total), posible (compatibilidad), insuficiente (información disponible inadecuada) y exclusiva (incoherencia e incompatibilidad) en determinado caso^{17,18}.

Las resinas compuestas son biomateriales de uso odontológico empleados en los procedimientos de restauración dental. Consisten en una mezcla de resinas polimerizables (componente orgánico) mezcladas con partículas de rellenos inorgánicos (componente inorgánico) y los elementos para unirlos¹⁹. Los componentes de las resinas compuestas se distribuyen,

and to the relative protection provided by perioral tissues facial muscles, maxillary bones and jaw, periodontal tissues and the tongue¹¹.

This is why, taking into account the classification of body burns (1. Superficial burns, 2. Destroyed epidermis areas, 3. Destruction of epidermis and dermis and necrosis areas in underlying tissues, 4. Total destruction of skin and deep tissues, and 5. incinerated remains)¹², dentists are called upon to assist and guide the identification of individuals in the last three categories, by comparing postmortem records with ante-mortem dental clinical history records. These comparisons or correlations are usually made with dental treatments such as prosthetic restorations and fillings, given the great resistance of dental tissues and dental materials —including composite resin restorations—^{5,13-15}. In general, when dental materials (including composite resins) are subjected to high temperatures, they may suffer changes in color, texture, fissures and cracks, fractures, dimensional stability and shattering.

Thus, after recording the postmortem dental data of a corpse or human remains, and by having evidence that suggest their possible identity, the next step is to get relevant dental records in order to make dental comparisons ante- and postmortem, which, according to the American Board of Forensic Odontology¹⁶, and supported by national and international laws, allows establishing identity in a particular case as positive (total coincidence), possible (compatibility), insufficient (inadequate available information), or exclusive (inconsistency and incompatibility)^{17,18}.

Composite resins are dental biomaterials used in dental restorative procedures. They consist of a mixture of polymerizable resin (organic component) mixed with particles of inorganic fillers (inorganic component) and the elements to bond them¹⁹. Composite resin components are normally distributed as

de forma general (los porcentajes cambian en cada marca comercial), de la siguiente manera: 1. Matriz de resina constituida por dimetacrilatos hidrofóbicos de alto peso molecular (Bis-GMA —bisfenol-a-glicidil metacrilato—) y de bajo peso molecular (TEGDMA —triethylenglicol dimetacrilato— y UDMA —dimetacrilato de uretano—) y monometacrilatos (IBOMA —isobornil metacrilato— y THFMA —tetrahidrofurfuril metacrilato—); 2. Inhibidores de la polimerización, como el MEHQ (4-metoxifenol); 3. Estabilizadores del color, como benzofenonas, benzotriazoles y fenilsalicilato, que absorben la luz ultravioleta; 4. Partículas de relleno de 0,04 micras (microrrelleno) a más de 100 micras (macrorrelleno), que proporcionan estabilidad dimensional a la matriz de resina (reducen la contracción de polimerización, disminuyen el coeficiente de expansión térmica y aumentan la dureza), como cuarzo cristalino, sílice coloidal, silicato de litio y aluminio, silicato de aluminio de bario, silicato de estroncio y aluminio; 5. Opacificadores, como bario, estroncio, zinc, zirconio e iterbio; 6. Agentes bifuncionales de acoplamiento o de adhesión que unen la matriz de resina a las partículas de relleno, como agentes epoxi, vinilo y silanos (vinil-trietoxi silano o metacriloxipropil-trimetoxi silano); 7. Iniciadores de la polimerización, como el peróxido de benzoilo activado por calor, las aminas terciarias (activadas químicamente) y las canforoquinonas (activadas por luz ultravioleta); y 8. Pigmentos que permiten obtener el color semejante de los dientes, como los óxidos orgánicos (fluoruro de bario)^{20,21}.

En este estudio se emplearon cinco sistemas comerciales (Z100 3M-ESPE®, Z250 3M-ESPE®, Z350 3M-ESPE®, Brilliant NG Coltene-Whaledent® y TPH3 Dentsply®) de uso extendido en el contexto clínico-odontológico en todo el mundo. Debido a sus propiedades biológicas, físicas y estéticas, a su relativo bajo costo y a su fácil manipulación, las resinas compuestas se han convertido en el biomaterial restaurador ideal para devolver las características morfo-funcionales a los tejidos dentales mineralizados que resultaron alterados. Del mismo modo, se emplearon los cinco colores (A1, A2, A3, A3.5 y B2)

follows (percentages change per manufacturer):

1. Resin matrix consisting of hydrophobic dimethacrylates of high molecular weight (Bis-GMA —bisfenol-a-glicidil metacrilato—) and low molecular weight (TEGDMA —triethylene glycol dimethacrylate— and UDMA —urethane dimethacrylate—) and monometacrylates (IBOMA —isobornil methacrylate— and THFMA —tetrahydrofurfuryl methacrylate—); 2. Polymerization inhibitors, such as MEHQ (4-methoxyphenol); 3. Color stabilizers, such as benzophenones, benzotriazoles and phenyl salicylate, which absorb UV light; 4. Filling particles of 0.04 microns (micro-fillers) to more than 100 microns (macro-fillers), which provide dimensional stability to the matrix resin (by reducing polymerization shrinkage, decreasing coefficient of thermal expansion and increasing hardness), such as crystal quartz, colloidal silica, lithium and aluminum silicate, aluminum silicate barium, strontium and aluminum silicate; 5. Opacifiers, such as barium, strontium, zinc, zirconium, and ytterbium; 6. Bifunctional adhesion agents that bond the resin matrix to filler particles, such as epoxy agents, vinyl, and silanes (vinyl-trietoxi silane or metacriloxipropil-trimethoxy silane); 7. Polymerization initiators, such as heat-activated benzoyl peroxide, tertiary amines (chemically activated) and canforoquinones (activated by ultraviolet light); and 8. Pigments that provide tooth-like shades, such as organic oxides (barium fluoride)^{20,21}.

This study used five commercial systems that are widely used in the dentistry worldwide (Z100 3M-ESPE®, Z250 3M-ESPE®, Z350 3M-ESPE®, Brilliant NG Coltene-Whaledent® and TPH3 Dentsply®). Due to their biological, aesthetic, and physical properties, as well as their relatively low cost and easy handling, composite resins have become the preferred restorative biomaterial to restore the morfo-functional characteristics of dental mineralized tissues that have been altered. Similarly, this study used five composite resin colors (A1, A2, A3, A3.5 and B2)

de resina compuesta que con mayor frecuencia se usan en las restauraciones estéticas^{22,23}. Dado que el uso de las resinas compuestas como material restaurador de cavidades dentales —respecto a la amalgama dental— ha ido en aumento en las últimas décadas²⁴, que estas cumplen un papel fundamental en los procesos de identificación forense para obtener un mayor número de marcadores coincidentes durante los cotejos antemortem-postmortem²⁵, y que tienen una alta resistencia a las altas temperaturas⁷⁻¹⁰, el propósito de este estudio fue establecer parámetros in vitro sobre el comportamiento de cinco sistemas comerciales de resina compuesta a altas temperaturas, que le permitan al perito forense determinar que efectivamente se trata de una resina compuesta y no de otro material de uso odontológico a partir de los cambios específicos macroestructurales en cada rango de temperatura, los cuales se podrán constituir en marcadores fehacientes que eventualmente contribuyan con el proceso de identificación odontológica forense para el caso de cadáveres o restos humanos quemados, carbonizados o incinerados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este es un estudio descriptivo de naturaleza pseudoexperimental in vitro, que analizó, mediante estereomicroscopía, el comportamiento de 375 discos elaborados en cinco sistemas comerciales de resina compuesta (Z100 3M-ESPE®, Z250 3M-ESPE®, Z350 3M-ESPE®, Brilliant NG Coltene-Whaledent® y TPH3 Dentsply®) sometidos a altas temperaturas (200, 400, 600, 800 y 1000 °C). Para todos los sistemas se emplearon cinco colores (A1, A2, A3, A3.5 y B2), excepto para Brilliant NG Coltene-Whaledent® (dentina —A1/B1, A2/B2, A3/D3 y A3.5/B3— y esmalte —A2/B2—).

Elaboración de los discos en resina compuesta

Se empleó una matriz de aluminio, láminas de acetato y losetas de vidrio, para elaborar cinco discos simultáneamente,

that are frequently used in aesthetic restorations^{22, 23}. Since the use of composite resins as restorative materials in dental cavities —regarding dental amalgam— has been increasing in recent decades²⁴, as they play a critical role in the identification process providing a greater number of matching markers during the antemortem-postmortem forensic correlations²⁵, and because they are highly resistant to high temperatures⁷⁻¹⁰, the purpose of this study was to establish in-vitro parameters on the behavior of five commercial composite resin systems at high temperatures, allowing forensic experts to determine that it is actually a composite resin and not another dental material based on specific macrostructural changes in each temperature range, which may constitute evidence markers to eventually contribute to the process of forensic dental identification in the case of or burned, charred, or incinerated corpses of human remains.

MATERIALS AND METHODS

This was a descriptive, pseudo-experimental in-vitro study using a stereo microscope to analyze the behavior of 375 disks made of five commercial composite resin systems of (Z100 3M-ESPE®, Z250 3M-ESPE®, Z350 3M-ESPE®, Brilliant NG Coltene-Whaledent® and TPH3 Dentsply®) which were subjected to high temperatures (200, 400, 600, 800 and 1000 °C). Five colors (A1, A2, A3, A3.5 and B2) were used in all the systems, except for Brilliant NG Coltene-Whaledent® (dentin —A1/B1, A2/B2, D3/A3 and A3.5/B3— and enamel —A2/B2—).

Preparation of composite resin disks

An aluminum matrix, acetate sheets and glass vials were used to produce five disks simultaneously,

cada uno de diez milímetros de diámetro por cuatro milímetros de espesor. Para elaborar cada disco se empacó la resina compuesta (sistema comercial y color específicos) mediante técnica por incrementos oblicuos de 2,5 milímetros que fueron polimerizados —cada incremento— por 40 segundos con una lámpara de fotopolimerización (Spectrum 800® Dentsply®) con un ajuste de potencia normal recomendado de 550 mW/cm² —sugerido por el fabricante y verificado al momento de elaborar cada disco en el radiómetro que trae incorporado la lámpara— hasta obturar por completo las cavidades de la matriz. Si bien los discos no fueron pulidos, la capa inhibida fue retirada con una mota de algodón humedecida con agua y piedra pómez. Una vez finalizada la fase de polimerización, los discos fueron retirados de la matriz.

Manejo y conservación de la muestra

Una vez elaborados los discos en resina compuesta, cada uno de ellos fue depositado de forma individual en un recipiente plástico opaco y mantenido a humedad relativa y temperatura ambiente (28 °C). Antes de la aplicación de las altas temperaturas, a cada uno de los discos se le tomó una fotografía digital con un estereomicroscopio digital Leuchtturm® de 1,3 megapíxeles a 15X. Los discos fueron distribuidos en cada uno de los seis grupos (un grupo control —temperatura ambiente— conformado por 75 discos, y cinco grupos de intervención —sometidos a altas temperaturas— con 375 discos en total) de acuerdo a los sistemas comerciales, al color y a los rangos de temperatura (tabla 1).

Aplicación de altas temperaturas

Este procedimiento se hizo con base en el protocolo técnico y científico establecido en el Departamento de Odontostomatología de la Universidad de Pavia (Italia)⁷ y con base en los estudios realizados en la Escuela de Odontología de la Universidad del Valle (Colombia)⁹.

each measuring ten millimeters in diameter by four millimeters thick. To make each disk, the composite resin (specific brand and color) was packaged using the technique of oblique increments of 2.5 millimeters which were polymerized —each increment— by 40 seconds with a light curing lamp (Spectrum 800 Dentsply®) using a normal power of 550 mW/cm² —recommended by the manufacturer and verified at the time of manufacturing each disk in the radiometer included with the lamp— until completely sealing the cavities in the matrix. Although not all disks were polished, the inhibited layer was removed with a cotton swab moistened with water and pumice. Once the stage of polymerization was over, the disks were removed from the matrix.

Management and conservation of samples

Once the composite resin disks were manufactured, each was placed in an opaque plastic container and kept at relative humidity and room temperature (28 °C). Prior application of high temperatures, each disk was taken a digital photograph with a Leuchtturm® 1.3-megapixel stereo-microscope at 15X. The disks were sorted out in the six groups (a control group —at room temperature— with 75 disks, and five intervention groups —subjected to high temperatures— with 375 disks in total) according to the commercial systems, the shades and the temperature ranges (table 1).

Application of high temperatures

This procedure was based on the technical scientific protocol established at the Department of Odontostomatology of University of Pavia (Italy),⁷ as well as the studies at the School of Dentistry of Universidad del Valle (Colombia)⁹.

Tabla 1. Distribución de la muestra

| Marcas de resina compuesta | Temperatura | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|---------------|----|----|------|----|-----------------------|----|----|------|----|--------|----|----|------|----|
| | Grupo control | | | | | Grupo de intervención | | | | | | | | | |
| | 28 °C | | | | | 200 °C | | | | | 400 °C | | | | |
| | A1 | A2 | A3 | A3.5 | B2 | A1 | A2 | A3 | A3.5 | B2 | A1 | A2 | A3 | A3.5 | B2 |
| Z100 3M-ESPE® | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Z250 3M-ESPE® | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Z350 3M-ESPE® | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Brilliant NG Coltene-Whaledent® | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| TPH3 Dentsply® | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |

| Marcas de resina compuesta | Temperatura | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|-----------------------|----|----|------|----|--------|----|----|------|----|---------|----|----|------|----|
| | Grupo de intervención | | | | | | | | | | | | | | |
| | 600 °C | | | | | 800 °C | | | | | 1000 °C | | | | |
| | A1 | A2 | A3 | A3.5 | B2 | A1 | A2 | A3 | A3.5 | B1 | A1 | A2 | A3 | A3.5 | B2 |
| Z100 3M-ESPE® | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Z250 3M-ESPE® | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Z350 3M-ESPE® | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Brilliant NG Coltene-Whaledent® | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| TPH3 Dentsply® | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |

Table 1. Sample distribution

| Composite resin brand | Temperature | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|---------------|----|----|------|----|---------------------|----|----|------|----|--------|----|----|------|----|
| | Control group | | | | | Intervention groups | | | | | | | | | |
| | 28 °C | | | | | 200 °C | | | | | 400 °C | | | | |
| | A1 | A2 | A3 | A3.5 | B2 | A1 | A2 | A3 | A3.5 | B2 | A1 | A2 | A3 | A3.5 | B2 |
| Z100 3M-ESPE® | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Z250 3M-ESPE® | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Z350 3M-ESPE® | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Brilliant NG Coltene - Whaledent® | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| TPH3 Dentsply® | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |

| Composite resin brand | Temperature | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|---------------------|----|----|------|----|--------|----|----|------|----|---------|----|----|------|----|
| | Intervention groups | | | | | | | | | | | | | | |
| | 600 °C | | | | | 800 °C | | | | | 1000 °C | | | | |
| | A1 | A2 | A3 | A3.5 | B2 | A1 | A2 | A3 | A3.5 | B1 | A1 | A2 | A3 | A3.5 | B2 |
| Z100 3M- SPE® | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Z250 3M-ESPE® | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Z350 3M-ESPE® | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Brilliant NG Coltene - Whaledent® | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| TPH3 Dentsply® | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |

El modelo in vitro planteado en este estudio se realiza en un horno y no en flama directa, teniendo en cuenta que en los diferentes reportes de la literatura la temperatura máxima alcanzada es de 1000 °C —si bien algunos reportes han elevado la temperatura hasta 1200 °C⁷, no se reportan diferencias significativas respecto a los 1000 °C—, pico que se alcanza entre los 25 y 30 m, para luego mantenerse aproximadamente entre los 500 °C hasta que se consume todo el oxígeno o todo el material orgánico es reducido a carbón (carbonización) o a compuestos de calcio, fosfatos, sílice u otros oligoelementos (incineración). Además, este “efecto de mufla”, in situ, es lo que comparativamente harían los tejidos periorales, la musculatura facial, el tejido óseo y los tejidos dentales y periodontales¹¹.

Los discos de resina compuesta del grupo de intervención, correspondientes a cada rango de temperatura, se colocaron en bandejas individuales de revestimiento refractario (Cera-Fina® Whipmix®) para facilitar su manipulación y se sometieron al calor directo dentro de un horno tipo mufla (Thomas Benchtop Thermolyne®) previamente calibrado a cinco diferentes rangos de temperatura (200, 400, 600, 800 y 1000 °C) con una tasa de ascenso de 10 °C por minuto desde una temperatura inicial de 28 °C hasta alcanzar cada una de las temperaturas propuestas. Por ejemplo, se introdujeron los tres discos del sistema Z100 3M-ESPE® color A1, cada uno en su respectiva bandeja, en un rango de temperatura de 28 a 200 °C, se dejó enfriar el horno hasta la temperatura ambiente y se procedió a extraer las bandejas con los discos. Luego se introdujeron los tres discos del sistema Z100 3M-ESPE® color A2, cada uno en su respectiva bandeja, en un rango de temperatura de 28 a 400 °C, se dejó enfriar el horno de nuevo hasta la temperatura ambiente y se procedió a sacar las bandejas con los discos. Este proceso se repitió sucesivamente para los discos de cada sistema comercial y de cada color para los rangos de temperatura de 600, 800 y 1000 °C.

The suggested in vitro model for this study is conducted in an oven and not in direct flame, bearing in mind that in different literature reports the maximum temperature reached is 1000 °C —while some reports have raised the temperature up to 1200 °C⁷, no significant differences are reported compared the 1000 °C—, a peak reached after 25 to 30 m. and then kept at approximately 500 °C until all of the oxygen is consumed or all organic material is reduced to carbon (carbonization) or to compounds of calcium, phosphate, silica or other mineral nutrients (incineration). In addition, this in situ “flask effect” is comparable to the effect of perioral tissues, facial musculature, bone tissue, and dental and periodontal tissues¹¹.

The composite resin disks in the intervention groups, corresponding to each temperature range, were placed on individual trays for refractory coating (Cera-Fina® Whipmix®) to facilitate handling and were subjected to direct heat in a muffle furnace (Thomas Benchtop Thermolyne®) previously calibrated to five different temperature ranges (200, 400, 600, 800 and 1000 °C) with an increment rate of 10 °C per minute from an initial temperature of 28 °C up to each proposed temperature. For example, the three Z100 3M-ESPE® disks color A1 were introduced, each in its respective tray, in a temperature range of 28 °C to 200 °C, leaving the furnace to cool down to room temperature in order to remove the trays with disks. Then, the three Z100 3 M-ESPE® disks color A2 were introduced, each in its respective tray, in a temperature range of 28 °C to 400 °C, leaving the furnace to cool down to room temperature in order to remove the trays with disks. This process was repeated successively for each brand and disk color for the remaining temperature ranges: 600, 800 and 1000 °C.

Observación de la muestra

Antes de realizar la descripción del comportamiento de los discos de resina compuesta de los cinco sistemas comerciales sometidos a altas temperaturas, dos de los autores recibieron entrenamiento en la observación de los cambios a partir del grupo control (teniendo en cuenta las variables color —color propio de cada resina, pardo, negro, gris y blanco tiza—, textura —rugosidad y porosidad—, fisuras y grietas —aspecto craquelado superficial—, fracturas —pérdida de la solución de continuidad del disco—, estabilidad dimensional —aumento de tamaño— y estallido —fragmentación—) para controlar sesgos y lograr la unificación de los criterios de observación. En este sentido, se estimó el grado de fiabilidad mediante la prueba Kappa en el software Stata® versión 6,0, cuyo resultado determinó la estandarización intraobservador (0,91 y 0,91) e interobservador (0,88 y 0,93) para los dos observadores respectivamente.

Análisis estadístico

A través del software IBM SPSS Statistics®, versión 22,0, se hizo análisis de frecuencias para determinar la frecuencia relativa (%) de los cambios macroscópicos en la muestra. Las variables que se tuvieron en cuenta fueron temperatura, color, textura, fisuras y grietas, fracturas, estabilidad dimensional y estallido.

RESULTADOS

Los cinco sistemas comerciales de resina compuesta (Z100 3M-ESPE®, Z250 3M-ESPE®, Z350 3M-ESPE®, Brilliant NG Coltene-Whaledent® y TPH3 Dentsply®) tuvieron un comportamiento muy similar en cada rango de temperatura (tabla 2). A 15X (Figuras 1-5), se logró observar cambios macroscópicos superficiales en el color, textura, fisuras y grietas, fracturas, estabilidad dimensional y estallido de los discos de resina compuesta al ser sometidos a la acción de altas temperaturas. Cabe anotar que

Observation of samples

As a preparation for describing the behavior of the composite resin disks of five commercial systems subjected to high temperatures, two authors were trained in observation of changes in the control group (bearing in mind the following variables: color —the shade of each resin as brown, black, grey and powder white—, texture —roughness and porosity— fissures and cracks —crackled surface appearance—, fractures —loss of continuity in disk—, dimensional stability —size increase— and shattering —fragmentation—) in order to have bias control bias and to achieve consistency in observation criteria. The degree of reliability was estimated by means of the Kappa test using version 6.0 of the Stata® software and its findings determined intraobserver (0.91 and 0.91) and interobserver (0.88 and 0.93) standardization for both observers respectively.

Statistical analysis

The analysis of frequencies was conducted with version 22.0 of the IBM SPSS Statistics® software in order to determine the relative frequency (%) of the macroscopic changes in the sample. The following variables were considered: temperature, color, texture, fissures and cracks, fracture, dimensional stability and shattering.

RESULTS

The five composite resin commercial systems of (Z100 3M-ESPE®, Z250 3M-ESPE®, Z350 3M-ESPE®, Brilliant NG Coltene-Whaledent® and TPH3 Dentsply®) showed very similar behavior in each temperature range (table 2). Surface macroscopic changes were evident at 15X (Figures 1-5) in terms of color, texture, fissures and cracks, fracture, dimensional stability, and shattering of composite resin disks subjected to the action of high temperatures. It should be noted that

cada figura corresponde a un sistema comercial de resina compuesta; la primera columna corresponde a los discos del grupo control que no fueron sometidos a altas temperaturas y, a partir de esta, de izquierda a derecha, cada columna corresponde a los rangos de temperaturas, desde 200 hasta 1000°C. De igual forma, las filas corresponden a los tonos de color, siendo la primera A1 y enseguida, de arriba abajo, A2, A3, A3.5 y B2; excepto para el sistema Brilliant NG Coltene-Whaledent® cuyos tonos, desde la primera columna de arriba abajo, son dentina —A1/B1, A2/B2, A3/D3 y A3.5/B3— y esmalte —A2/B2—.

each figure corresponds to a commercial system of composite resin; the first column corresponds to disks in the control group which were not subjected to high temperatures and, moving from left to right, each column corresponds to temperature ranges starting from 200 up to 1000 °C. Similarly, the rows correspond to shades; row 1 shows shade A1, and from top to bottom the table lists shades A2, A3, A3.5, and B2; except for Brilliant NG Coltene-Whaledent® with shades from the first column top-down as dentin —A1/B1, A2/B2, D3/A3 and A3.5/B3— and enamel —A2/B2—.

Tabla 2. Frecuencia de los cambios de los discos de resina compuesta sometidos a altas temperaturas

| Características | Z100 3M-ESPE® | Z250 3M-ESPE® | Z350 3M-ESPE® | Brilliant NG Coltene- Whaledent® | TPH3 Dentsply® |
|-------------------------|--|---|---|--|--|
| 200 °C | | | | | |
| Color | Pérdida de brillo por combustión superficial (100%) | Pérdida de brillo por combustión superficial (100%) | Pérdida de brillo por combustión superficial (100%) | Pérdida de brillo por combustión superficial (100%) | Pérdida de brillo por combustión superficial (100%) |
| Textura | Se hacen visibles las marcas de los instrumentos durante la elaboración de los discos (100%) | Se observan vetas blancas asociadas a manipulación de la resina durante la elaboración de los discos (100%) | Se observan vetas blancas asociadas a manipulación de la resina durante la elaboración de los discos (100%) | Se observan vetas blancas asociadas a manipulación de la resina durante la elaboración de los discos (100%) | Se observan vetas blancas asociadas a manipulación de la resina durante la elaboración de los discos (100%) |
| Fisuras y grietas | No se observan (100%) | No se observan (100%) | No se observan (100%) | No se observan (100%) | No se observan (100%) |
| Fractura | No presenta (100%) | No presenta (100%) | No presenta (100%) | No presenta (100%) | No presenta (100%) |
| Estabilidad dimensional | No se observa (100%) | No se observa (100%) | No se observa (100%) | No se observa (100%) | No se observa (100%) |
| Estallido | No se observa (100%) | No se observa (100%) | No se observa (100%) | No se observa (100%) | No se observa (100%) |
| 400 °C | | | | | |
| Color | Los discos se observan pardos con vetas pardas en las marcas de los instrumentos (100%) | Los discos se observan pardos con vetas pardas en las marcas de los instrumentos (100%) | Los discos se observan pardos con vetas pardas en las marcas de los instrumentos (100%) | Los discos se observan pardos con vetas pardas en las marcas de los instrumentos (100%) | Los discos se observan pardos con vetas pardas en las marcas de los instrumentos (100%) |
| Textura | Se observan las marcas de los instrumentos durante la elaboración de los discos (100%) | Se observan las marcas de los instrumentos durante la elaboración de los discos (100%) | Se observan las marcas de los instrumentos durante la elaboración de los discos (100%) | Se observan las marcas de los instrumentos durante la elaboración de los discos (100%) y presencia de pequeños poros distribuidos por toda la superficie (66%) | Se observan las marcas de los instrumentos durante la elaboración de los discos (100%) y presencia de pequeños poros distribuidos por toda la superficie (66%) |
| Fisuras y grietas | No se observan (100%) | Se observan grietas que atraviesan el disco (100%) | Se observan fisuras superficiales que atraviesan el disco (100%) | Se observan fisuras superficiales y grietas poco profundas en la región central del disco (100%) | Se observan fisuras superficiales y grietas poco profundas en la región central del disco (100%) |
| Fractura | No presenta (100%) | No presenta (100%) | No presenta (100%) | No presenta (100%) | No presenta (100%) |
| Estabilidad dimensional | No se observa (100%) | No se observa (100%) | No se observa (100%) | No se observa (100%) | No se observa (100%) |
| Estallido | No se observa (100%) | No se observa (100%) | No se observa (100%) | No se observa (100%) | No se observa (100%) |

| Características | Z100 3M-ESPE® | Z250 3M-ESPE® | Z350 3M-ESPE® | Brilliant NG Coltene- Whaledent® | TPH3 Dentsply® |
|-------------------------|---|---|---|---|--|
| 600 °C | | | | | |
| Color | Los discos se observan negros con vetas blancas en las marcas de los instrumentos (100%) | Los discos se observan negros con vetas blancas en las marcas de los instrumentos (100%) | Los discos se observan negros con vetas blancas en las marcas de los instrumentos (100%) | Los discos se observan negros con vetas blancas en las marcas de los instrumentos (100%) | Los discos se observan opacos y de color blanco con aspecto moteado debido a manchas blancas (100%) |
| Textura | Se observan las marcas de los instrumentos durante la elaboración de los discos (100%) | Se observan las marcas de los instrumentos durante la elaboración de los discos (100%) | Se observan las marcas de los instrumentos durante la elaboración de los discos (100%) | Se observan las marcas de los instrumentos durante la elaboración de los discos (100%) | Aspecto craquelado por red de fisuras superficiales (100%) |
| Fisuras y grietas | Se observan fisuras superficiales y grietas poco profundas en la región central del disco (100%) | Se observan fisuras superficiales y grietas poco profundas en la región central del disco (100%) | Se observan fisuras superficiales y grietas profundas en la región central del disco (100%) | Se observan fisuras superficiales y grietas profundas en la región central del disco (100%) | Se observan fisuras superficiales y grietas profundas en la región central del disco (100%) |
| Fractura | No presenta (100%) | Se observa fragmentación del disco (33%) | Se observa fragmentación del disco (33%) | Se observa fragmentación del disco (33%) | Se observa fragmentación del disco (100%) |
| Estabilidad dimensional | Se observa expansión térmica –alteración de la forma– (100%) | Se observa expansión térmica –alteración de la forma– (100%) | Se observa expansión térmica –alteración de la forma– (100%) | Se observa expansión térmica –alteración de la forma– (100%) | Se observa expansión térmica –alteración de la forma– (100%) |
| Estallido | No se observa (100%) | No se observa (100%) | No se observa (100%) | No se observa (100%) | Se observa estallido y destrucción superficial del disco (100%) |
| 800 °C | | | | | |
| Color | Los discos se observan opacos y de color blanco (100%) | Los discos se observan opacos y de color blanco (100%) | Los discos se observan opacos y de color blanco (100%) | Los discos se observan opacos y de color blanco (100%) | Los discos se observan opacos y de color blanco con aspecto moteado mucho más evidente debido a manchas blancas (100%) |
| Textura | Aspecto craquelado por red de fisuras superficiales (100%) | Aspecto craquelado por red de fisuras superficiales (100%) | Aspecto craquelado por red de fisuras superficiales (100%) | Aspecto craquelado por red de fisuras superficiales (100%) | Se observan fisuras superficiales y grietas profundas en la región central del disco (100%) |
| Fisuras y grietas | Se observan fisuras superficiales y grietas profundas que atraviesan el disco (100%) | Se observan fisuras superficiales y grietas profundas que atraviesan el disco (100%) | Se observan fisuras superficiales y grietas profundas que atraviesan el disco (100%) | Se observan fisuras superficiales y grietas profundas que atraviesan el disco (100%) | Se observan fisuras superficiales y grietas profundas en la región central del disco (100%) |
| Fractura | No presenta (100%) | Se observa fragmentación del disco (33%) | Se observa fragmentación del disco (33%) | Se observa fragmentación del disco (33%) | Se observa fragmentación del disco (100%) |
| Estabilidad dimensional | Se observa contracción térmica –alteración de la forma– (100%) | Se observa contracción térmica –alteración de la forma– (100%) | Se observa contracción térmica –alteración de la forma– (100%) | Se observa contracción térmica –alteración de la forma– (100%) | Se observa expansión térmica –alteración de la forma– (100%) |
| Estallido | No se observa (100%) | No se observa (100%) | No se observa (100%) | No se observa (100%) | Se observa estallido y destrucción superficial del disco (100%) |
| 1000 °C | | | | | |
| Color | Los discos se observan opacos y de color blanco (100%) | Los discos se observan opacos y de color blanco (100%) | Los discos se observan opacos y de color blanco (100%) | Los discos se observan brillantes y de color blanco (100%) | Los discos se observan brillantes y de color blanco con manchas negras a manera de lunares coincidentes con los poros de mayor tamaño (100%) |
| Textura | Aspecto craquelado por red de fisuras superficiales (100%) | Aspecto craquelado por red de fisuras superficiales (100%) | Aspecto craquelado por red de fisuras superficiales (100%) | Aspecto derretido con perforaciones profundas (100%) | Aspecto derretido y poroso con perforaciones superficiales (100%) |
| Fisuras y grietas | Se observan fisuras superficiales y grietas profundas que atraviesan el disco en todo su perímetro (100%) | Se observan fisuras superficiales y grietas profundas que atraviesan el disco en todo su perímetro (100%) | Se observan fisuras superficiales y grietas profundas que atraviesan el disco en todo su perímetro (100%) | Se observan perforaciones superficiales que se internan dando un aspecto trabeculado (100%) | Se observan poros superficiales que se internan dando un aspecto de esponja (100%) |

| Características | Z100 3M-ESPE® | Z250 3M-ESPE® | Z350 3M-ESPE® | Brilliant NG Coltene- Whaledent® | TPH3 Dentsply® |
|-------------------------|--|--|--|--|--|
| Fractura | Se observa fragmentación del disco (33%) | Se observa fragmentación del disco (33%) | Se observa fragmentación del disco (33%) | No se observa (100%) | No se observa (100%) |
| Estabilidad dimensional | Se observa contracción térmica –alteración de la forma– (100%) | Se observa contracción térmica –alteración de la forma– (100%) | Se observa contracción térmica –alteración de la forma– (100%) | Se observa contracción térmica y expansión del disco debido a las perforaciones internas –alteración de la forma– (100%) | Se observa expansión del disco debido a las perforaciones internas –alteración de la forma– (100%) |
| Estallido | Se observa estallido y destrucción del disco (33%) | Se observa estallido y destrucción del disco (33%) | No se observa (100%) | No se observa (100%) | No se observa (100%) |

Table 2. Frequency of changes in composite resin disks subjected to high temperatures

| Features | Z100 3M-ESPE® | Z250 3M-ESPE® | Z350 3M-ESPE® | Brilliant NG Coltene - Whaledent® | TPH3 Dentsply® |
|-----------------------|---|--|--|---|---|
| 200 ° C | | | | | |
| Color | Loss of brightness due to surface combustion (100%) | Loss of brightness due to surface combustion (100%) | Loss of brightness due to surface combustion (100%) | Loss of brightness due to surface combustion (100%) | Loss of brightness due to surface combustion (100%) |
| Texture | The marks of instruments during disk making become visible (100%) | There are white stains associated with manipulation of resin during disk making (100%) | There are white stains associated with manipulation of resin during disk making (100%) | There are white stains associated with manipulation of resin during disk making (100%) | There are white stains associated with manipulation of resin during disk making (100%) |
| Fissures and cracks | Not seen (100%) | Not seen (100%) | Not seen (100%) | Not seen (100%) | Not seen (100%) |
| Fracture | Does not occur (100%) | Does not occur (100%) | Does not occur (100%) | Does not occur (100%) | Does not occur (100%) |
| Dimensional stability | Does not occur (100%) | Does not occur (100%) | Does not occur (100%) | Does not occur (100%) | Does not occur (100%) |
| Shattering | Does not occur (100%) | Does not occur (100%) | Does not occur (100%) | Does not occur (100%) | Does not occur (100%) |
| 400 ° C | | | | | |
| Color | Disks are brown with brown stains in instrument marks (100%) | Disks are brown with brown stains in instrument marks (100%) | Disks are brown with brown stains in instrument marks (100%) | Disks are brown with brown stains in instrument marks (100%) | Disks are brown with brown stains in instrument marks (100%) |
| Texture | Instrument marks during disk making are visible (100%) | Instrument marks during disk making are visible (100%) | Instrument marks during disk making are visible (100%) | Instrument marks during disk making are visible (100%) as well as the presence of small pores distributed over the entire surface (66%) | Instrument marks during disk making are visible (100%) as well as the presence of small pores distributed over the entire surface (66%) |
| Fissures and cracks | Not seen (100%) | There are cracks through the disk (100%) | There are superficial fissures that crisscross the disk (100%) | There are superficial fissures and shallow cracks in the central area of the disk (100%) | There are superficial fissures and shallow cracks in the central area of the disk (100%) |
| Fracture | Does not occur (100%) | Does not occur (100%) | Does not occur (100%) | Does not occur (100%) | Does not occur (100%) |
| Dimensional stability | Does not occur (100%) | Does not occur (100%) | Does not occur (100%) | Does not occur (100%) | Does not occur (100%) |
| Shattering | Does not occur (100%) | Does not occur (100%) | Does not occur (100%) | Does not occur (100%) | Does not occur (100%) |
| 600 ° C | | | | | |
| Color | The disks are black with white stains in instrument marks (100%) | The disks are black with white stains in instrument marks (100%) | The disks are black with white stains in instrument marks (100%) | The disks are black with white stains in instrument marks (100%) | Disks are opaque and white with mottled look due to white stains (100%) |
| Texture | Instrument marks during disk making are visible (100%) | Instrument marks during disk making are visible (100%) | Instrument marks during disk making are visible (100%) | Instrument marks during disk making are visible (100%) | Crackled appearance due to a network of surface fissures (100%) |

| Features | Z100 3M-ESPE® | Z250 3M-ESPE® | Z350 3M-ESPE® | Brilliant NG Coltene - Whaledent® | TPH3 Dentsply® |
|-----------------------|--|--|--|--|--|
| Fissures and cracks | There are surface fissures and shallow cracks in the central area of the disk (100%) | There are surface fissures and shallow cracks in the central area of the disk (100%) | There are surface fissures and deep cracks in the central area of the disk (100%) | There are surface fissures and deep cracks in the central area of the disk (100%) | There are surface fissures and deep cracks in the central area of the disk (100%) |
| Fracture | Does not occur (100%) | There is disk fragmentation (33%) | There is disk fragmentation (33%) | There is disk fragmentation (33%) | There is disk fragmentation (33%) |
| Dimensional stability | There is thermal expansion–shape alteration– (100%) | There is thermal expansion–shape alteration– (100%) | There is thermal expansion–shape alteration– (100%) | There is thermal expansion–shape alteration– (100%) | There is thermal expansion–shape alteration– (100%) |
| Shattering | Does not occur (100%) | Does not occur (100%) | Does not occur (100%) | Does not occur (100%) | There is shattering and destruction of surface disk (100%) |
| 800 ° C | | | | | |
| Color | The disks are opaque and white (100%) | The disks are opaque and white (100%) | The disks are opaque and white (100%) | The disks are opaque and white (100%) | The disks are opaque and white with mottled appearance much more evident due to white stains (100%) |
| Texture | Crackled appearance due to a network of surface fissures (100%) | Crackled appearance due to a network of surface fissures (100%) | Crackled appearance due to a network of surface fissures (100%) | Crackled appearance due to a network of surface fissures (100%) | There are surface fissures and deep cracks in the central area of the disk (100%) |
| Fissures and cracks | There are surface fissures and deep cracks all through the disk (100%) | There are surface fissures and deep cracks all through the disk (100%) | There are surface fissures and deep cracks all through the disk (100%) | There are surface fissures and deep cracks all through the disk (100%) | There are surface fissures and deep cracks in the central area of the disk (100%) |
| Fracture | Does not occur (100%) | There is disk fragmentation (33%) | There is disk fragmentation (33%) | There is disk fragmentation (33%) | There is disk fragmentation (33%) |
| Dimensional stability | There is thermal contraction–shape alteration– (100%) | There is thermal contraction–shape alteration– (100%) | There is thermal contraction–shape alteration– (100%) | There is thermal contraction–shape alteration– (100%) | There is thermal contraction–shape alteration– (100%) |
| Shattering | Does not occur (100%) | Does not occur (100%) | Does not occur (100%) | Does not occur (100%) | There is shattering and destruction of surface disk (100%) |
| 1000 ° C | | | | | |
| Color | The disks are opaque and white (100%) | The disks are opaque and white (100%) | The disks are opaque and white (100%) | The disks are bright and white (100%) | The disks are bright and white with black stains that look like moles overlapping with larger pores (100%) |
| Texture | Crackled appearance due to a network of surface fissures (100%) | Crackled appearance due to a network of surface fissures (100%) | Crackled appearance due to a network of surface fissures (100%) | Melted appearance with deep perforations (100%) | Melted and porous appearance with surface perforations (100%) |
| Fissures and cracks | There are surface fissures and deep cracks all through the disk around its entire perimeter (100%) | There are surface fissures and deep cracks all through the disk around its entire perimeter (100%) | There are surface fissures and deep cracks all through the disk around its entire perimeter (100%) | There are surface perforations which penetrate giving a trabecular look (100%) | There are surface pores which penetrate giving a sponge look (100%) |
| Fracture | There is disk fragmentation (33%) | There is disk fragmentation (33%) | There is disk fragmentation (33%) | Does not occur (100%) | Does not occur (100%) |
| Dimensional stability | There is thermal contraction–shape alteration– (100%) | There is thermal contraction–shape alteration– (100%) | There is thermal contraction–shape alteration– (100%) | There is thermal contraction of trabeculae and disk expansion due to internal holes–shape alteration– (100%) | There is disk expansion due to internal holes–shape alteration– (100%) |
| Shattering | There is shattering and disk destruction (33%) | There is shattering and disk destruction (33%) | Does not occur (100%) | Does not occur (100%) | Does not occur (100%) |

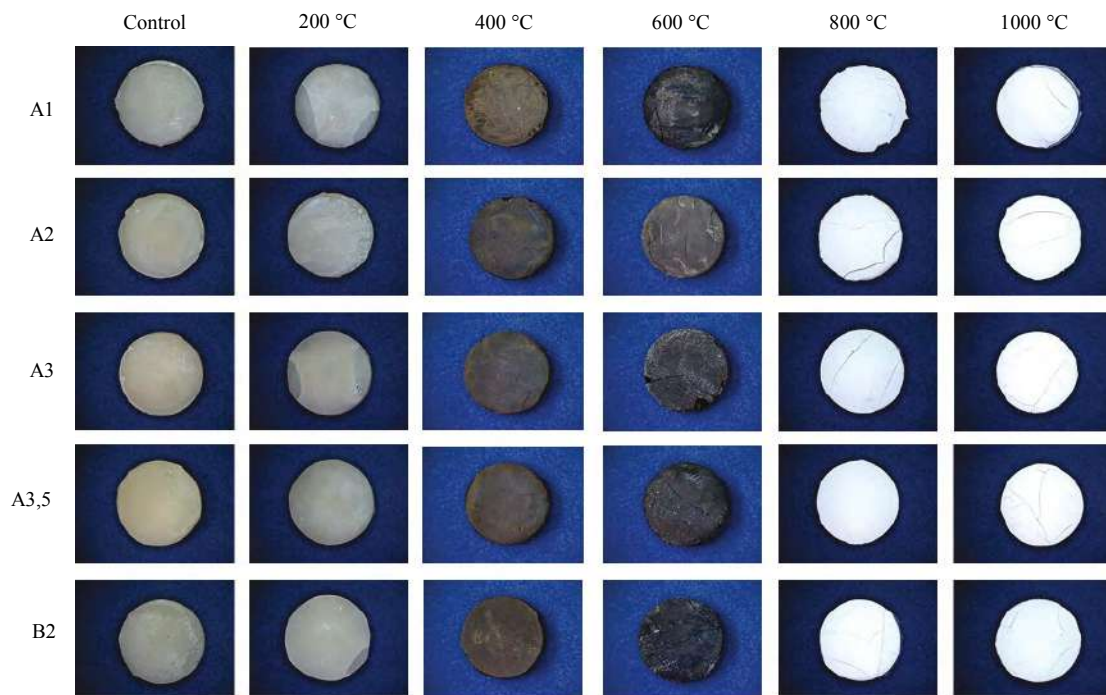


Figura 1. Discos de resina compuesta Z100 3M-ESPE® sometidos a altas temperaturas observados a 50X

Figure 1. Z100 3M-ESPE® composite resin disks subjected to high temperatures observed at 50X

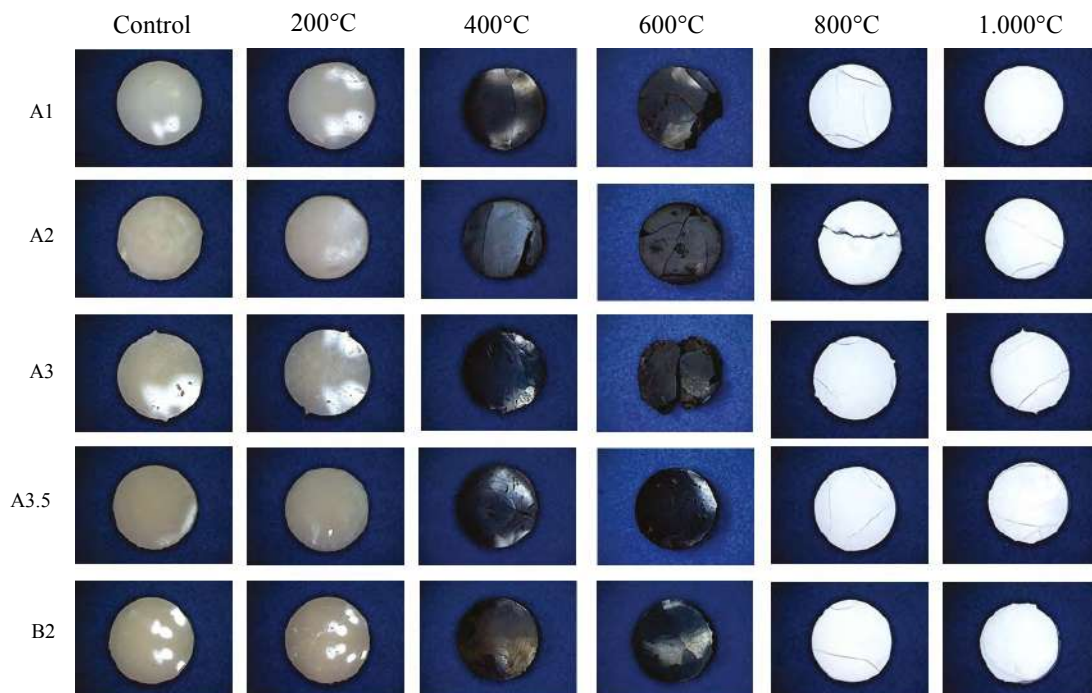


Figura 2. Discos de resina compuesta Z250 3M-ESPE® sometidos a altas temperaturas observados a 50X

Figure 2. Z250 3M-ESPE® composite resin disks subjected to high temperatures observed at 50X

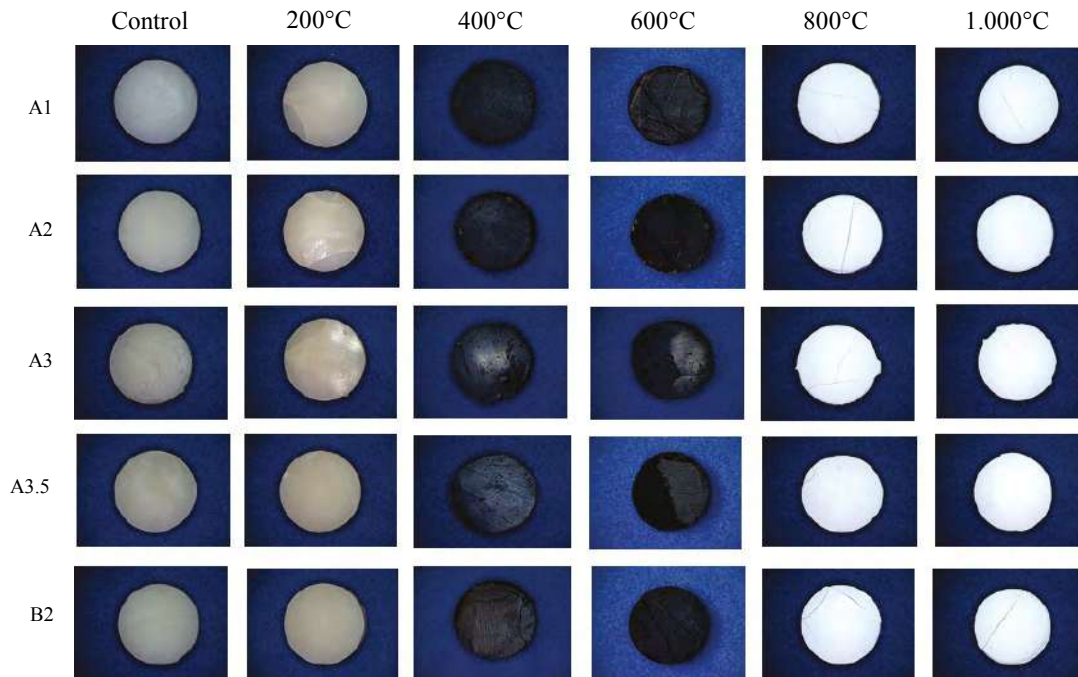


Figura 3. Discos de resina compuesta Z350 3M-ESPE® sometidos a altas temperaturas observados a 50X

Figure 3. Z350 3M-ESPE® composite resin disks subjected to high temperatures observed at 50X

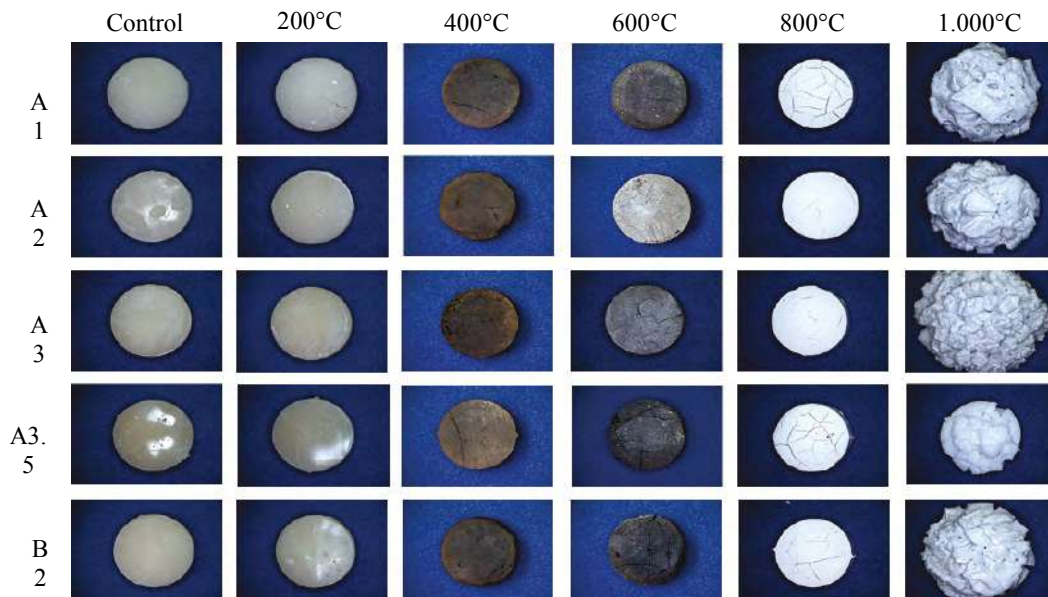


Figura 4. Discos de resina compuesta Brilliant NG Coltene-Whaledent® sometidos a altas temperaturas observados a 50X

Figure 4. Brilliant NG Coltene-Whaledent® composite resin disks subjected to high temperatures observed at 50X

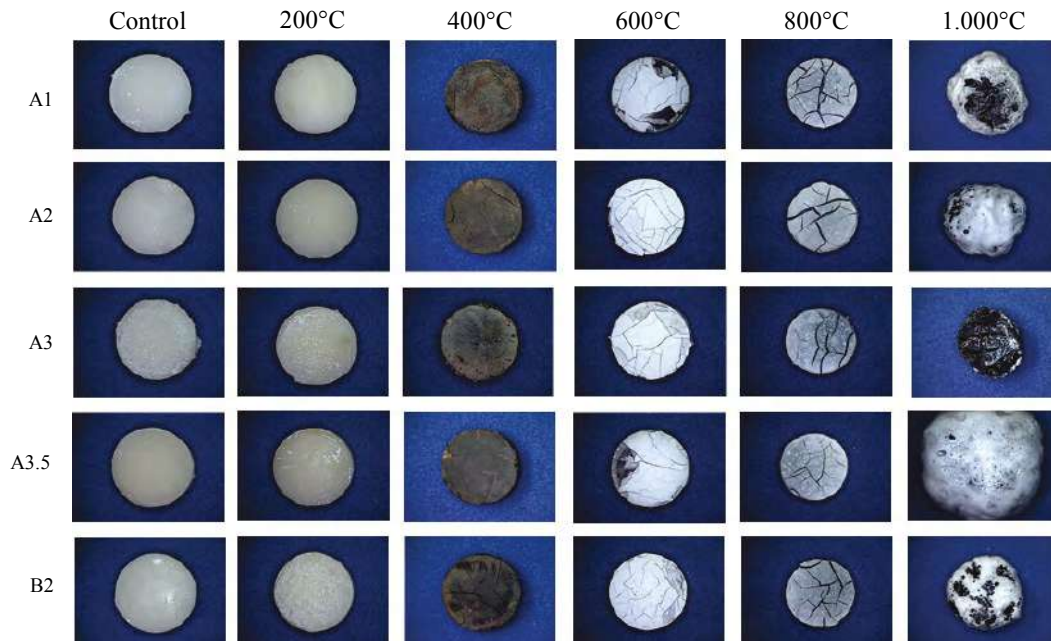


Figura 5. Discos de resina compuesta TPH3 Dentsply® sometidos a altas temperaturas observados a 50X

Figure 5. TPH3 Dentsply® composite resin disks subjected to high temperatures observed at 50X

En términos generales, a los 200 °C todos los sistemas de resina compuesta se comportaron de igual forma, siendo características la pérdida de brillo y la visibilidad de vetas blancas; a los 400 °C los discos se tornan pardos por el inicio de la combustión de la matriz orgánica, se observan vetas pardas y se pueden apreciar fisuras superficiales y grietas poco profundas; a los 600 °C los discos se observan negros por combustión de la matriz orgánica, se observan vetas blancas y se puede apreciar un aumento en el patrón de fisuras superficiales y grietas profundas asociadas a la expansión térmica inicial, que, en el caso del sistema TPH3 Dentsply®, ocasionaron el estallido de los discos; a los 800 °C los discos se observaron opacos y de color gris por incineración de la matriz orgánica, la superficie adquirió un aspecto craquelado por el aumento del patrón de fisuras superficiales, algunos de los discos se fragmentaron por la formación de grietas profundas, la forma de los discos se vio alterada por la contracción dimensional y, en el caso del sistema TPH3 Dentsply®,

In general, at 200 °C all composite resin systems behaved in the same way, with loss of brightness and visible white stains as common characteristics; at 400 °C disks turned brown due to initial combustion of organic matrix, with brown stains and surface fissures plus shallow cracks; at 600 °C the disks turned black due to combustion of organic matrix, white stains appeared with an increase in the pattern of surface cracks and deep cracks associated with initial thermal expansion, which in the case of TPH3 Dentsply® caused the shattering of disks; at 800 °C the disks were opaque and gray due to incineration of organic matrix, the surface got a crackled appearance due to an increase in surface fissures, some of the disks got fragmented by deep cracks, disk shape was altered by dimensional shrinkage and, in the case TPH3 Dentsply®

los discos resultaron estallados; finalmente, a los 1000 °C los discos se observaron opacos y de color blanco por incineración de la matriz orgánica, la superficie mantuvo el aspecto craquelado por el aumento del patrón de fisuras superficiales, algunos de los discos se fragmentaron por la formación de grietas profundas, la forma de los discos se vio alterada por la contracción dimensional y, en el caso del sistema TPH3 Dentsply®, los discos cambiaron notablemente su forma por la expansión térmica y adquirieron un aspecto de esponja por la cantidad de poros superficiales y perforaciones profundas.

DISCUSIÓN

Antes de iniciar la discusión sobre el comportamiento de los discos de resina compuesta sometidos a altas temperaturas, se debe comprender la distribución de los componentes (clasificación de acuerdo al tamaño de las partículas de relleno) de los sistemas comerciales tenidos en cuenta en este estudio. Las partículas de relleno son las encargadas de reducir la contracción de polimerización, la sorción acuosa y el coeficiente de expansión térmica de la matriz de resina, aumentando la resistencia a la tracción, a la comprensión y a la abrasión, además del módulo de elasticidad^{20, 21}. Mediante diferentes procesos de fabricación, estas partículas de relleno se pueden elaborar de diferentes tamaños: micropartículas desde las 0,04 micras y macropartículas a partir de 100 micras y más²⁶.

En este estudio se emplearon cinco sistemas de resinas compuestas: 1. Z100 3M-ESPE®, que corresponde a una resina compuesta multipropósito microhíbrida cuya matriz orgánica se encuentra compuesta de Bis-GMA y TEGDMA, y cuyo componente inorgánico corresponde a partículas de relleno de zirconio tratadas con silano (agente de acoplamiento) de 0,6 micras de tamaño promedio (0,01 a 3,5 micras); 2. Z250 3M-ESPE® es un sistema restaurador universal microhíbrido con una matriz orgánica compuesta de Bis-GMA, TEGDMA y UDMA, y con un componente inorgánico de zirconio tratado con silano (agente de acoplamiento) de 0,6 micras de tamaño promedio (0,01 a 3,5 micras); 3. Z350 3M-ESPE®,

the disks burst; finally, at 1000 °C the disks were opaque and white due to incineration of organic matrix, surfaces kept a crackled appearance by the increase in surface fissures, some of the disks got fragmented by deep cracks, disk shape was altered by dimensional shrinkage and, in the case TPH3 Dentsply®, disks dramatically changed their shape by thermal expansion and got a sponge aspect due to the amount of surface pores and deep perforations.

DISCUSSION

Before starting the discussion on the behavior of composite resin disks subjected to high temperatures, it is necessary to understand the distribution of components (classification according to size of filler particles) of the commercial systems included in this study. Filler particles are responsible for reducing polymerization shrinkage, water sorption and the coefficient of thermal expansion in resin matrix, increasing tensile, compression, and abrasion strength, besides the modulus of elasticity^{20, 21}. Using different manufacturing processes, filler particles can be of different sizes: microparticles starting at 0.04 microns and macroparticles starting at 100 microns and more²⁶.

Five composite resin systems were used in this study: 1. Z100 3M-ESPE®, which is a multi-purpose micro-hybrid composite resin whose organic matrix is composed of Bis-GMA and TEGDMA and whose inorganic component is zirconium filler particles treated with silane (coupling agent) measuring 0.6 microns in average (0.01 to 3.5 μm); 2. Z250 3M-ESPE® is a micro-hybrid universal restorative system whose organic matrix is composed of Bis-GMA, TEGDMA and UDMA, and whose inorganic zirconium component is treated with silane (coupling agent) measuring 0.6 microns in average (0.01 to 3.5 μm); 3. Z350 3M-ESPE®,

que corresponde a un sistema restaurador universal nanohíbrido con una matriz orgánica compuesta de Bis-GMA, TEGDMA, UDMA y PEGDMA, y con un componente inorgánico de partículas de relleno de sílica de 20 nanómetros, zirconia de 4 a 11 nanómetros y conglomerados de zirconio tratado con silano (agente de acoplamiento) de 20 nanómetros; 4. Brilliant NG Coltene-Whaledent® es una resina compuesta universal microhíbrida cuya matriz orgánica se encuentra compuesta de diferentes metacrilatos y con un componente inorgánico de partículas de relleno de sílica amorfa de 0,6 micras de tamaño promedio (0,01 a 2,5 micras); y 5. TPH3 Dentsply® que es un sistema restaurador universal nanohíbrido con una matriz orgánica compuesta de Bis-GMA, TEGDMA y Bis-EMA, y con un componente inorgánico de partículas de relleno de silicato de aluminio, silicato de bario, silicato de boro y fluoruro de bario de 0,1 micras y conglomerados de sílice de 15 nanómetros de tamaño promedio (10 a 20 nanómetros)^{21,22}.

Una vez explicada la composición de los sistemas comerciales de las resinas compuestas, la discusión se concentrará en las variables tenidas en cuenta en este estudio, es decir, los cambios en color, textura, fisuras y grietas, fracturas, estabilidad dimensional y estallido.

De acuerdo a lo observado, los cambios en el color de los discos de resina compuesta se pueden asociar a los diferentes niveles de combustión de la matriz orgánica en la medida que aumenta la temperatura. A los 200 °C, respecto al grupo control, los discos pierden brillo debido a la combustión superficial asociada a la persistencia de radicales libres de la capa inhibida producidos durante la polimerización (generalmente de peróxidos)²⁷. A los 400 y 600 °C, los discos se tornan inicialmente pardos y luego negros debido a la carbonización de la matriz orgánica y se observan vetas, inicialmente pardas y luego blancas, que fueron asociadas a la manipulación de la resina compuesta y a las marcas de los instrumentos durante la elaboración de los discos. Si bien las casas comerciales de los sistemas de resina compuesta no determinan un punto de fusión específico, se debe tener en cuenta que temperaturas de hasta 100 °C

which is a nano-hybrid restorative universal system with an organic matrix composed of Bis-GMA, TEGDMA, UDMA, and PEGDMA, and an inorganic component of silica filler particles of 20 nanometers, zirconia of 4 to 11 nanometers and zirconium clusters treated with silane (coupling agent) of 20 nm; 4. Brilliant NG Coltene-Whaledent® is a universal micro-hybrid composite resin whose organic matrix is composed of various methacrylates and with an inorganic component of amorphous silica filling particles of 0.6 microns in average (0.01 to 2.5 microns); and 5. TPH3 Dentsply® which is a universal nano-hybrid restorative system with an organic matrix composed of Bis-GMA, TEGDMA, and Bis-EMA, and an inorganic component of filling particles of aluminum silicate, barium silicate, boron silicate, and barium fluoride of 0.1 microns and silica clusters measuring 15 nanometers in average (10-20 nm)^{21, 22}.

Now that the composition of composite resin commercial systems has been explained, the discussion will focus on the variables considered in this study, i.e., changes in color, texture, fissures and cracks, fracture, dimensional stability, and shattering.

According to the observations, color changes in the composite resin disks can be associated to different levels of organic matrix combustion as temperature increases. At 200 °C, in comparison to the control group, the disks lose brightness due to surface combustion associated with the persistence of free radicals of the inhibited layer produced during polymerization (usually of peroxides)²⁷. At 400 and 600 °C the disks turn initially brown and then black due to carbonization of organic matrix and there are stains initially brown and then white that are associated to manipulation of composite resin and instruments marks during the elaboration of disks. While manufacturers of composite resin systems do not usually specify a melting point, it should be noted that temperatures up to 100 °C

son necesarias para que los monómeros se fusionen entre sí y conformen cadenas poliméricas, en un proceso conocido como polimerización térmica o termocurado.¹⁹ Los monómeros de mayor uso en los sistemas comerciales de resinas compuestas (Bis-GMA, Bis-EMA, TEGDMA y UDMA) empiezan a volatilizarse desde los 125 °C²⁸, hasta alcanzar su punto de fusión a los 200 °C²¹. Ya a los 800 y 1000 °C los discos se observan grises y blancos respectivamente, y se tornan opacos por incineración de la matriz orgánica, exceptuando los discos de los sistemas Brilliant NG Coltene-Whaledent® y TPH3 Dentsply®, que se observan brillantes y con manchas negras aisladas asociadas a un mayor contenido de matriz orgánica. Por tanto, respecto al color, en este estudio se observan los mismos cambios reportados por Merlati y colaboradores⁷, Moreno y colaboradores⁹ y Vásquez y colaboradores²⁹, en los cuales ha sido posible determinar la temperatura a la que estuvieron sometidos los discos de resina con el cambio de color superficial de los mismos, asociado a los diferentes niveles de combustión inicial, carbonización e incineración de la matriz orgánica. Sin embargo, no es posible determinar diferencias entre los cinco sistemas comerciales, así como en los colores tenidos en cuenta en este estudio.

Para el caso de la textura, cabe resaltar que los discos de resina compuesta no fueron pulidos una vez terminado el proceso de polimerización, por lo que la naturaleza tersa de su superficie fue conferida por las tiras de acetato que los cubrieron dentro de la matriz durante la polimerización final de acuerdo al protocolo. Así, desde los 400 °C se hicieron visibles pigmentaciones irregulares asociadas a las producidas por los instrumentos durante la elaboración de los discos mediante la técnica de incrementos oblicuos, lo que da como resultado un aspecto veteado, el cual, conforme aumenta la temperatura, pasa de un color pardo (carbonización) a uno blanco (incineración) hasta desvanecerse a los 800 °C. Otro aspecto fundamental que se debe tener en cuenta es que, desde los 800 °C (desde los 600°C para el caso del sistema TPH3 Dentsply®), la superficie de los discos presenta una red de fisuras que le da un aspecto craquelado a la superficie, el cual puede estar interrumpido por fisuras

are required for monomers to fuse with each other and form polymer chains, in a process known as thermal polymerization or heat curing.¹⁹ The monomers most commonly used in commercial composite resin systems (Bis-EMA, Bis-GMA, TEGDMA, and UDMA) begin to volatilize at 125 °C²⁸, until reaching melting point at 200 °C²¹. At 800 and 1000 °C disks are gray and white respectively, and turn opaque due to incineration of organic matrix, except for disks of the Brilliant NG Coltene-Whaledent® and TPH3 Dentsply® systems, which are bright and with isolated black spots associated to a higher content of organic matrix. Therefore, in terms of color, this study observed the same changes reported by Merlati et al⁷, Moreno et al⁹, and Vásquez et al²⁹, who were able to determine the temperature at which resin disks were subjected to by means of surface color change, associated with different levels of initial combustion, charring, and incineration of organic matrix. However, it is not possible to establish differences between the five commercial systems or the colors taken into account in this study.

Concerning texture, it should be noted that the composite resin disks were not polished once the curing process was completed, so the smooth nature of their surface was provided by acetate strips covering them inside the matrix during final light curing according to the protocol. Thus, starting at 400 °C there were irregular pigmentations associated to those produced by instruments during the elaboration of disks using the oblique increments technique, resulting in a streaked appearance, which changes from brown (carbonization) to white (incineration) as temperature increases and fades at 800 °C. Another fundamental aspect that must be considered is that, from 800 °C (of from 600 °C in the case of TPH3 Dentsply®), the disks surfaces show a network of fissures that provides them with a crackled appearance which can be interrupted by deep cracks and fissures

y grietas más profundas o por la fractura y fragmentación del disco. A los 1000 °C los discos de los sistemas Brilliant NG Coltene-Whaledent® y TPH3 Dentsply® se observan derretidos, porosos y con perforaciones profundas. Con la excepción de esta última característica, Merlati et al⁷, Moreno et al⁹ y Vásquez et al²⁹ reportaron los mismos aspectos en la textura de las resinas compuestas.

Básicamente, y en la medida en que aumenta la temperatura, los sistemas de resina compuesta experimentan dos reacciones: la primera se da entre los 600 y 800 °C, y consiste en la expansión térmica de los discos, evidente en las superficies convexas, asociada a la carbonización de la matriz orgánica por evaporación de los componentes, lo que genera espacios entre las partículas de relleno, el patrón de fisuras que produce el aspecto craquelado y las grietas poco profundas producto del choque térmico. La segunda se da a los 1000 °C y consiste en una contracción térmica como resultado de la incineración de la matriz orgánica, lo que ocasiona que las partículas de relleno se reagrupen y produzcan reducción de tamaño de los discos, grietas profundas, fracturas cohesivas y fragmentación de acuerdo al nivel de incineración. Estos fenómenos, descritos por Merlati y colaboradores⁷, Moreno y colaboradores⁹ y Vásquez y colaboradores²⁹, en obturaciones dentales realizadas en resinas compuestas, ocurren en todos los discos excepto en los sistemas comerciales Brilliant NG Coltene-Whaledent® y TPH3 Dentsply®, en los que los discos se observan derretidos, porosos y con perforaciones profundas, lo que sugiere que los polímeros de la matriz orgánica no son incinerados del todo sino que llegan a su límite de fundición y alcanzan el punto de ebullición, para luego, una vez disminuida la temperatura, solidificarse y configurar el aspecto descrito.

Tal como se explicó en el punto anterior, los discos de resina compuesta inicialmente se expanden y luego se contraen debido al choque térmico. En los sistemas comerciales Z100 3M-ESPE®, Z250 3M-ESPE® y Z350 3M-ESPE®, estos cambios en la estabilidad dimensional no lograron fragmentar los discos más allá de la aparición de una red de fisuras superficiales y grietas

or fractures and disk fragmentation. At 1000 °C, disks of the Brilliant NG Coltene-Whaledent® and TPH3 Dentsply® systems are melted, porous and with deep perforations. With the exception of this last feature, Merlati et al⁷, Moreno et al⁹, and Vásquez et al²⁹ reported the same aspects in terms of composite resins texture.

Basically, as temperature increases, the composite resin systems experienced two reactions: the first occurs between 600 and 800 °C and involves thermal expansion of disks, which is noticeable in convex surfaces associated to carbonization of organic matrix by evaporation of components, creating gaps in between filling particles, the fissure pattern that produces the crackled look, and shallow cracks as a result of thermal shock. The second reaction occurs at 1000 °C and consists on thermal contraction as a result of incineration of organic matrix, causing the filling particles to regroup and lead to reduction in disk size, deep cracks, cohesive fractures, and fragmentation depending on the degree of incineration. These phenomena, described by Merlati et al⁷, Moreno et al⁹, and Vásquez et al²⁹ in composite resin dental restorations, occur in all disks except in the Brilliant NG Coltene-Whaledent® and TPH3 Dentsply® commercial systems, where disks are melted, porous and with deep perforations, suggesting that organic matrix polymers are not fully incinerated but reach their melting limit as well as their boiling point and then, once temperature decreases, they solidify and show the described aspect.

As previously explained, composite resin disks initially expand and then collapse due to thermal shock. In the Z100 3M-ESPE®, Z250 3M-ESPE®, and Z350 3M-ESPE® commercial systems, these changes in dimensional stability failed to break up the disks beyond the emergence of a network of fissures and deep cracks. This great resistance to

profundas. Esta gran resistencia a la acción de las altas temperaturas se puede asociar a la composición de las resinas compuestas. Los tres sistemas comerciales son clasificados como híbridos debido a que tienen partículas de diferentes tamaños sin sobrepasar las 0,6 micras. De igual forma, el contenido de partículas de relleno es mayor que el contenido de la matriz polimérica (Z100 3M-ESPE® 66%, Z250 3M-ESPE® 72,5% y Z350 3M-ESPE® 78,5%)^{21,22}, de tal forma que, cuando esta se sinteriza y se fusiona, no se disminuye el volumen del disco como para afectar su solidez estructural³⁰. Para el caso de los sistemas comerciales Brilliant NG Coltene-Whaledent® y TPH3 Dentsply®, los cambios desde los 600 °C son dramáticos, ya que se observa una fragmentación superficial con pérdida de continuidad del material (fallas cohesivas) asociadas a un menor contenido de matriz orgánica, a un menor contenido de partículas de relleno, que para el sistema TPH3 Dentsply® es de 58%, y a un tamaño de partícula del orden de los nanómetros. Respecto al sistema Brilliant NG Coltene-Whaledent®, la cantidad de partículas de relleno es del 65% del volumen y se encuentran representadas por partículas de sílica amorfa, la cual es mucho más soluble que la presentación cristalina por su estructura porosa, lo que supone que, al aumentar la temperatura, las partículas de relleno se precipitan sobre una matriz orgánica fundida alterando la forma original. Moreno y colaboradores⁹ y Vásquez y colaboradores²⁹, en sus estudios, explican que este fenómeno inicial de expansión térmica y la posterior contracción térmica ocasiona el cambio en la estabilidad, las fracturas, la fragmentación de las obturaciones en resina compuesta, así como su posterior desalojo de la cavidad dental, que es notorio entre los 600 y 1000 °C.

La estrategia de combinar las propiedades de los componentes orgánicos e inorgánicos ha permitido optimizar las propiedades físicas de las resinas compuestas; dos de ellas son las características refractarias —para adaptarse a los diferentes cambios de temperatura de la cavidad oral y de los alimentos sin alterar la estabilidad dimensional— y la resistencia a la carga —mediante una fase mineral de refuerzo—, ambas conferidas por diferentes materiales inorgánicos de relleno como serían el sílice y el zirconio³¹.

the action of high temperatures may be associated to the composition of composite resins. The three commercial systems are classified as hybrids since they have particles of different sizes not exceeding 0.6 microns. Similarly, the content of filler particles is greater than the content of polymer matrix (Z100 3M-ESPE® 66%, Z250 3M-ESPE® 72,5% and Z350 3M-ESPE® 78,5%)^{21, 22}; therefore, when it is sintered and merged does not decrease disk volume as to affect its structural strength³⁰. In the case of the Brilliant NG Coltene-Whaledent® and TPH3 Dentsply® commercial systems, starting at 600 °C changes are dramatic, since there is surface fragmentation with loss of material continuity (cohesive failure) associated to a lower content of organic matrix, a minor content of filling particle—which is 58% for the TPH3 Dentsply® system—and with particles in nanometers. Concerning the Brilliant NG Coltene-Whaledent® system, the amount of filler particles is 65% of the volume, including particles of amorphous silica, which is much more soluble than the crystal form due to its porous structure, suggesting that an increase in temperature has the filling particles precipitate on a molten organic matrix altering the original shape. In their studies, Moreno et al⁹ and Vasquez et al²⁹ explained that this initial phenomenon of thermal expansion and subsequent thermal contraction causes change in stability, fractures, fragmentation of composite resin fillings as well as their subsequent push out of the dental cavity, which is noticeable from 600 to 1000 °C.

The strategy of combining properties of organic and inorganic components has allowed to optimize the physical properties of composite resins; two of them are refractory characteristics —adapting to the various changes of the oral cavity and to food temperature without altering dimensional stability— and load strength —through a mineral reinforcement phase—, both provided by various inorganic filler materials such as silica and zirconium³¹.

Para el caso de este estudio, los sistemas de resina compuesta Z100 3M-ESPE® y Z250 3M-ESPE® emplean zirconio como material de relleno, y Z350 3M-ESPE® emplea zirconio y sílice; mientras que Brilliant NG Coltene-Whaledent® y TPH3 Dentsply® usan únicamente sílice. De esta forma, de acuerdo a los puntos de fusión de estos dos componentes (1700 °C para la sílice y 1900 °C para el zirconio), la matriz orgánica se altera mucho más rápido que la matriz inorgánica en la medida en que sube la temperatura; y de acuerdo a la cantidad de partículas de relleno, los dos últimos sistemas tienen mayor proporción de matriz orgánica, de allí que se deformen al ser sometidos a temperaturas elevadas.

CONCLUSIONES

Los discos de resina compuesta de los sistemas comerciales tenidos en cuenta en este estudio presentaron cambios en la textura, fisuras, grietas y fracturas de acuerdo al rango de temperatura al que fueron sometidos. Respecto a la estabilidad dimensional y estallido, se observaron diferencias en el comportamiento de los discos con base en la clasificación de las resinas compuestas de acuerdo al tamaño y al tratamiento de las partículas de relleno; de esta forma, los sistemas Z100 3M-ESPE®, Z250 3M-ESPE® y Z350 3M-ESPE® mantuvieron la integridad estructural aun cuando la superficie presentaba fisuras, grietas profundas o fractura del disco, mientras que los sistemas Brilliant NG Coltene-Whaledent® y TPH3 Dentsply® cambiaron notablemente su aspecto.

Para el caso de la observación cualitativa del color, todos los sistemas comerciales se comportaron de igual forma, resaltando que la opacidad (200 °C), el color marrón (400 °C), el color negro (600 °C), el color gris (800 °C) y el color blanco (800 y 1000°C) se pueden asociar a los diferentes niveles de combustión inicial, carbonización e incineración de la matriz orgánica; sin embargo, no fue posible determinar diferencias por el cambio de color entre los sistemas comerciales, así como no se evidenciaron diferencias entre los tonos de resina compuesta.

In this study, the Z100 3M-ESPE® and Z250 3M-ESPE® composite resin systems use zirconium as filling material, and Z350 3M-ESPE® uses zirconia and silica; while Brilliant NG Coltene-Whaledent® and TPH3 Dentsply® only use silica. Thus, according to the melting points of these two components (1700 °C for silica and 1900 °C for zirconium), the organic matrix is altered much faster than the inorganic matrix as temperature increases; and according to the amount of filling particles, the two last systems have a higher proportion of organic matrix, and therefore they are deformed when subjected to high temperatures.

CONCLUSIONS

The composite resin disks of the commercial systems included in this study presented changes in texture, fissures, cracks and fractures according to the temperature range to which they were submitted. Regarding dimensional stability and shattering, there were differences in disk behavior based on the classification of composite resins in terms of size filler particles treatment; thus, the Z100 3M-ESPE®, Z250 3M-ESPE®, and Z350 3M-ESPE® systems maintained structural integrity even if the surface had fissures, deep cracks or disk fracture, while the Brilliant NG Coltene-Whaledent® and TPH3 Dentsply® systems significantly changed their appearance.

In the case of color observations, all the commercial systems behaved in the same way, but it should be noted that opacity (200 °C), brown shade (400 °C), black shade (600 °C), gray shade (800 °C) and white shade (800 and 1000 °C) may be associated with different levels of initial combustion, charring, and burning of organic matrix; however, it was not possible to determine differences by color change among these commercial systems, as well as there were not apparent differences among composite resin shades.

Finalmente, al asociar los cambios de color con el comportamiento macroestructural de los discos de resina compuesta, será posible identificar el tipo de material de uso odontológico en el que fue elaborada determinada restauración dental, lo cual resulta fundamental al momento de realizar el cotejo ante-postmortem durante los procesos de identificación odontológica forense para el caso de cadáveres o restos humanos quemados, carbonizados o incinerados. De igual forma, dichos cambios permitirán estimar la temperatura a la cual estuvo sometida una obturación elaborada en resina compuesta, lo cual es útil para la documentación de la necropsia médico-legal.

Se recomienda realizar análisis espectrométrico de los diferentes sistemas comerciales para cuantificar el color, realizar espectrometría de masa para identificar el comportamiento de los componentes moleculares de la matriz orgánica y las partículas de microrrelleno, y observar en microscopía electrónica de barrido los cambios microestructurales que explican los cambios macroscópicos (textura, fisuras y grietas, fracturas, estabilidad dimensional y estallido) de los discos de resina compuesta.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue financiada por la Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad del Valle (Cali, Colombia) a través de la Convocatoria Interna para la Conformación del Banco de Proyectos de Investigación, 2013.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

CORRESPONDENCIA

Freddy Moreno
Departamento de Ciencias Básicas de la Salud
Facultad de Ciencias de la Salud
Pontificia Universidad Javeriana
fmorenog@javerianacali.edu.co y
freddy.a.moreno@correounivalle.edu.co
Cali, Colombia

Finally, in associating color changes with the macrostructural behavior of composite resin disks, it will be possible to identify the type of dental material used to make certain dental restoration, which is fundamental in ante-post mortem comparisons during the identification processes of dental forensics in the case of corpses or human remains that have been burned, charred, or incinerated. Similarly, these changes will allow estimating the temperature a composite resin restoration was subjected to, which is useful for medico-legal documentation.

The authors recommend performing further spectrometry analysis of the various commercial systems in order to quantify color, identify the behavior of molecular components of organic matrix components and microfillers, and use scanning electron microscopy to observe the microstructural changes that explain macroscopic changes (texture, fissures and cracks, fractures, dimensional stability and shattering) of composite resin disks.

ACKNOWLEDGEMENTS

This research was funded by the Vice Presidency of Research of Universidad del Valle (Cali, Colombia) through the internal call for the conformation of a Research Project Bank, 2013.

CONFLICT OF INTERESTS

The authors declare not having any conflict of interest.

CORRESPONDING AUTHOR

Freddy Moreno
Departamento de Ciencias Básicas de la Salud
Facultad de Ciencias de la Salud
Pontificia Universidad Javeriana
fmorenog@javerianacali.edu.co and
freddy.a.moreno@correounivalle.edu.co
Cali, Colombia

REFERENCIAS / REFERENCES

1. Rothwell BR. Principles of dental identification. *Dent Clin North Am* 2001; 45(2): 253-270.
2. Orjuela CE. Odontología forense. En Téllez NR, editor, *Medicina forense: manual integrado*. Santa Fe de Bogotá: Universidad Nacional de Colombia; 2002. pp. 361-366.
3. Avon SL. Forensic odontology: the roles and responsibilities of the dentist. *J Can Dent Assoc* 2004; 70(7): 453-458.
4. Fonseca GM, Salgadi G, Cantín M. Lenguaje odontológico forense e identificación: obstáculos por falta de estándares. *Rev Esp Med Legal* 2011; 37(4): 162-168.
5. Sweet D. Why a dentist for identification? *Dent Clin North Am* 2001; 45(2): 237-251.
6. Williams D, Lewis M, Franzen T, Lissett V, Adams C, Whittaker D et al. Sex determination by PCR analysis of DNA extracted from incinerated, deciduous teeth. *Sci Justice* 2004; 44(2): 89-94.
7. Merlati G, Danesino P, Savio C, Fassina G, Osculati A, Menghini P. Observations on dental prostheses and restorations subjected to high temperatures: experimental studies to aid identification processes. *J Forensic Odontostomatol* 2002; 20(2): 17-24.
8. Merlati G, Savio C, Danesino P, Fassina G, Menghini P. Further study of restored and un-restored teeth subjected to high temperatures. *J Forensic Odontostomatol* 2004; 22(2): 34-39.
9. Moreno S, León M, Marín L, Moreno F. Comportamiento in vitro de los tejidos dentales y de algunos materiales de obturación dental sometidos a altas temperaturas con fines forenses. *Colomb Med* 2008; 39 (Supl 1): 28-46.
10. Moreno S, Merlati G, Marín L, Savio C, Moreno F. Effects of high temperatures on different dental restorative systems: experimental study to aid identification processes. *J Forensic Dent Sci* 2009; 1(1): 17-23.
11. Delattre VF. Burned beyond recognition: systematic approach to the dental identification of charred human remains. *J Forensic Sci* 2000; 45(3): 589-596.
12. Norrlander AL. Burned and incinerated remains. En: Bowers CM, Bell GL (editores). *Manual of Forensic Odontology*. 3 ed. Colorado Springs: American Society of Forensic Odontology; 1997. 16-18.
13. Delattre VF, Stimson PG. Self-assessment of the forensic value of dental records. *J Forensic Sci* 1999; 44(5): 906-909.
14. Pretty IA, Sweet D. A look at forensic dentistry. Part 1: The role of teeth in the determination of human identity. *Br Dental J* 2001; 190(7): 359-366.
15. Hemasathya BA, Balagopal S. A study of composite restorations as a tool in forensic identification. *J Forensic Dent Sci* 2013; 5(1): 35-41.
16. American Board of Forensic Odontology ABFO. Body identification guidelines. *J Am Dent Assoc* 1994; 125(9): 1244-1254.
17. Marín NL, Moreno F. Odontología forense: identificación odontológica, reporte de casos. *Rev Estomat* 2003; 11(2): 41-49.
18. Marín L, Moreno F. Odontología forense: identificación odontológica de cadáveres quemados. Reporte de dos casos. *Rev Estomat* 2004; 12(2): 57-70.
19. Rodríguez G, Douglas R, Pereira S, Natalie A. Evolución y tendencias actuales en resinas compuestas. *Acta Odontol Venez* 2008; 46(3): 381-392.
20. Craig RG. *Materiales de odontología restauradora*. 10 ed. Madrid: Harcourt Brace, 1998.
21. Phillips AK. *Ciencia de los materiales dentales*. 11 ed. Madrid: Elsevier, 2004.
22. Byeong-Hoon C, Yong-Keun L. A shade guide model based on the color distribution of natural teeth. *Col Res Appl* 2007; 32(4): 278-283.
23. Dental Advisor Biomaterials Research Center. Current trends in resin composites. *The Dental Advisor* 2011; 28(7): 1-8.
24. Shenoy A. Is it the end of the road for dental amalgam? A critical review. *J Conserv Dent* 2008; 11(3): 99-107.
25. Hemasathya BA, Balagopal S. A study of composite restorations as a tool in forensic identification. *J Forensic Dent Sci* 2013; 5(1): 35-41.
26. Lang, B. Jaarda, M. Wang, R. Filler particle size and composite resin classification systems. *J Oral Rehabil* 1992; 19(6): 569-584.

27. Sehgal A, Rao YM, Joshua M, Narayanan LL. Evaluation of the effects of the oxygen-inhibited layer on shear bond strength of two resin composites. *J Conserv Dent* 2008; 11(4):159-161. DOI: 10.4103/0972-0707.48840
28. Bagis YH, Rueggeberg FA. Mass loss in urethane/TEGDMA- and Bis-GMA/TEGDMA-based resin composites during post-cure heating. *Dent Mater* 1997; 13(6): 377-380.
29. Vásquez L, Rodríguez P, Moreno F. Análisis macroscópico in vitro de los tejidos dentales y de algunos materiales dentales de uso en endodoncia, sometidos a altas temperaturas con fines forenses. *Rev Odontol Mex* 2012; 16(3): 171-181.
30. Bush MA, Bush PJ, Miller RG. Detection and classification of composite resins in incinerated teeth for forensic purposes. *J Forensic Sci* 2006; 51(3): 636-642.
31. Wan Q, Sheffield J, McCool J, Baran G. Light curable dental composites designed with colloidal crystal reinforcement. *Dent Mater* 2008; 24(12): 1694-1701.